

РЕСУРСНИ И ТЕХНОЛОГИЧНИ РЕШЕНИЯ ЗА ПОЛУЧАВАНЕ НА ЕНЕРГОНАСИТЕНИ МАТЕРИАЛИ ОТ БИОМАСА И ДРУГИ АЛТЕРНАТИВНИ СУРОВИНИ С МЕСТЕН ПРОИЗХОД

Нели Сивева, Христофор Скандалиев, Калин Крумов, Весислава Тотева

Химикотехнологичен и металургичен университет – София
e-mail: nelisiveva@gmail.com; fori2ivanov@yahoo.com

Ключови думи: Енергонаситени материали, целулоза, нитроцелулоза, биомаса, памук

Резюме: Настоящият доклад представя начален етап на изследователска дейност, насочена към получаване на нитроцелулоза чрез преработка на отпадъчни продукти от селското стопанство и текстилната индустрия. Темата е от съществено значение както от гледна точка на приложната химия, така и поради потенциала за оползотворяване на местни и нискостойностни отпадъчни суровини. В контекста на европейските политики за стратегическа автономия, кръгова икономика и зелена трансформация, темата придобива допълнителна тежест и от гледна точка на сигурността и отбранителните способности на страната и Европейския съюз. Нитроцелулозата като ключов компонент в производството на енергонаситени материали — колоидни метателни барути и твърди ракетни горива, заема стратегическо място в отбранителната индустрия, което налага гарантирана и предвидима верига за доставки. Изследването показва, че България разполага с потенциал да осигурява суровинна база чрез местни и нискостойностни отпадъчни потоци на биомаса. Подборът и предварителната оценка на тези ресурси е ключова стъпка към реализиране на независимо производство, базирано на устойчиви технологични модели.

В направения обзор се акцентира върху представянето на сравнителни оценки за ресурсния капацитет и технологичните възможности между утвърдените в практиката суровини и методи, и възможни алтернативни технологични подходи, съобразени с вида и произхода на суровия материал.

RESOURCE AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR OBTAINING ENERGY-RICH MATERIALS FROM BIOMASS AND OTHER ALTERNATIVE RAW MATERIALS OF LOCAL ORIGIN

Neli Siveva, Hristofor Skandaliev, Kalin Krumov, Vesislava Toteva

University of Chemical Technology and Metallurgy – Sofia
e-mail: nelisiveva@gmail.com; fori2ivanov@yahoo.com

Keywords: Energy-rich materials, cellulose, nitrocellulose, biomass, cotton

Abstract: This report presents an initial stage of research aimed at obtaining nitrocellulose by processing waste products from agriculture and the textile industry. The topic is of essential importance both from the point of view of applied chemistry and due to the potential for utilization of local and low-value waste raw materials. In the context of European policies for strategic autonomy, circular economy and green transformation, the topic also gains additional weight from the point of view of the security and defense capabilities of the country and the European Union. Nitrocellulose, as a key component in the production of energy-rich materials — colloidal propellant powders and solid rocket fuels — occupies a strategic place in the defense industry, which requires a guaranteed and predictable supply chain. The study shows that Bulgaria has the potential to provide a raw material base through local and low-value waste streams and biomass. The selection and preliminary assessment of these resources is a key step towards the realization of independent production based on sustainable technological models.

The review focuses on presenting comparative assessments of resource capacity and technological capabilities between raw materials and methods established in practice, and possible alternative technological approaches, taking into account the type and origin of the raw material.

Въведение

Нитроцелулозните барути и твърдите колоидни горива са ключов елемент за боеприпаси (патрони, артилерийски снаряди, ракетни двигатели, пиротехнически изделия). Те заемат голям дял от разнообразието на енергонаситени материали в съвременната отбранителна индустрия, заради своята надеждност и добрите си енергетични, физико-химични и икономически параметри. Във военните конфликти над 90% от използваните боеприпаси са базирани на нитроцелулозни метателни взривни вещества (ВВ) от различни модификации. В контекста на съвременната международна обстановка за страните от ЕС е много важно да се намали зависимостта от чуждестранни доставчици за тези енергетични материали, особено такива извън ЕС или от единствени производители на техните компоненти. Европейските отбранителни стратегии насърчават дейностите по диверсификация и регионално структурирано производство на критични компоненти и изделия. България има добър потенциал да допринесе за общоевропейската сигурност чрез развитие и модернизация на производствени мощности и технологии в тази сфера. Ще се осигури висока степен на логистична готовност и управление на запасите, бързо снабдяване и то в условия на високо качество и стандартизация, съгласно NATO/ЕС стандарти като STANAG и AQAP, осигуряващи добра съвместимост със съюзническата техника. В икономически план това ще доведе до повишаване на индустриалния капацитет в ключови сектори на химическата и машиностроителната промишленост, нови работни места, редуциране на оперативните разходи и отпадъци, както и увеличаване на експортния потенциал на страната.

Особено внимание заслужава възможността за получаване на целулоза с високо качество от местно достъпни суровини. Потенциалът на отпадъчни материали, като хартиени и текстилни отпадъци, генерирани ежегодно от индустрията, трябва да бъде оценен също и от гледна точка на екологичните и икономическите ползи от рециклирането им. Разглеждането на разнообразието от източници позволява по-ефективен избор на суровинна база и технологични решения за получаване на нитроцелулоза, отговарящи на актуалните реалности и съвременните изисквания при производството на енергонаситени материали.

Състояние на проблема

Разработването на енергонаситени материали от колоиден тип изисква използването на целулозни нитрати с високо азотно съдържание, което от своя страна предполага наличието на целулозен прекурсор с висока чистота и подходяща молекулна структура. За тези цели традиционно се използват източници на целулоза като памук и дървесина. При това се осигуряват относително постоянни качества на получената нитроцелулоза, но има ред ограничения, свързани с доставките на необходимите суровини и зависимост от други екологични, икономически и технологични фактори. Поради това се налага разширяване на обхвата на изследванията към алтернативни суровини – аграрна и лигноцелулозна биомаса, индустриални и битови отпадъчни продукти, всички те с достатъчно за целта съдържание на целулоза. Различията в степента на полимеризация, съдържанието на лигнин и хемицелулоза, както и наличието на примеси значително влияят върху качеството на получения нитроцелулозен продукт. Освен това, параметрите на предварителната обработка и методите за изолиране на целулозата от нестандартни суровини изискват прецизна оптимизация, за да се осигури желаното ниво на чистота и реактивоспособност. Систематичният преглед на тези източници е необходим за определяне на техния потенциал да бъдат ефективно преработени до целулоза с характеристики, съвместими с процеса на нитриране. Акцент при провеждане на този анализ е достъпността до различни видове източници на целулоза с местен произход, независещ от външни доставки.

Аналитичен обзор на суровинната база

Нитроцелулозните метателни ВВ (барути, ракетни горива, пиротехнически изделия) се получават чрез нитриране на целулоза и последващо пластифициране с подходящи разтворители и пресоване до твърди крайни продукти (заряди) с различно по вид предназначение. Основният компонент за всички видове колоидни барути и твърди хомогенни горива е нитроцелулозата (НЦ), която е резултат от химическо третиране на висококачествена целулоза с азотна киселина. При това взаимодействие се получават нитроестери (целулозни нитрати), в които хидроксилните групи (-OH) от всяка молекула на целулозата се заменят с нитрогрупи (-ONO₂) [1].

Химическата същност на целулозата от растенията я отнася към класа на въглехидратите с обща формула C₆H₁₀O₅, но на практика тя е високомолекулно съединение с доста сложен строеж. Това е естествен полимер с молекулна маса, която може да достигне до

500 000. Посочената обща химическа формула се нарича глюкозен остатък и се свързва във вериги (макромолекули), както по дължина, така и напречно, образувайки скелета на целулозните влакна [1]. Освен целулоза, растенията съдържат и други съединения с аморфен строеж, като хемицелулоза (полизахарид), лигнин (ароматен полимер на фенилпропанови алкохоли), пектини, восъци, феноли, масла и минерални съставки (пепел). За разлика от самата целулоза, наличието на изброените съставки в суровината за нитриране е нежелателно, поради ред фактори: източник са на непредсказуеми странични реакции; дават нестабилни продукти от взаимодействието с азотна киселина; пречат на основния процес на нитриране като създават хидрофобни емулсии; влошават термичната стабилност и т.н. Въз основа на тези изисквания за чистота на прекурсора може да се направи предварителен подбор на суровини, базиран на общата оценка за процентното разпределение на съставките в съответната биомаса. Сравнителна таблица на това разпределение за някои от използваните в производството естествени и рециклирани изходни материали е дадена в Табл. 1 [2, 3], а в Табл. 2 е представен съставът на различни по вид памучни отпадъци [4].

Както се вижда от Табл. 2, съдържанието на лигнин в отпадъкът от растението памук (28% w/w) е по-висок от другите видове отпадъци, образувани по време на обработката на памук. Най-много целулоза се съдържа във влакната от растението памук, отпадъци от тъкането на памук и индустриални памучни отпадъци.

Таблица 1. Химичен състав на лигноцелулозна биомаса (Европа) [2, 3]

Вид-биомаса	Лигнин	Целулоза	Хемицелулоза
Бор	20	42–50	24–27
Бук	25–30	38–45	35–40
Евкалипт	25.9	57.3	16.8
Акация	9.83	46.5	16.03
Бадем	25.0	33.7	20.1
Бързо растящо дърво	20-26	45–49	21–25
Ориз	15.4–20.28	28.7–35.6	11.96–29.3
Кафе	25	13	42
Царевична слама	8.2	42.6	21.3
Отпадъци от банани	14	13.2	14.8
Захарна тръстика	20	42	25
Пшенична слама	16–21	29–35	26–32

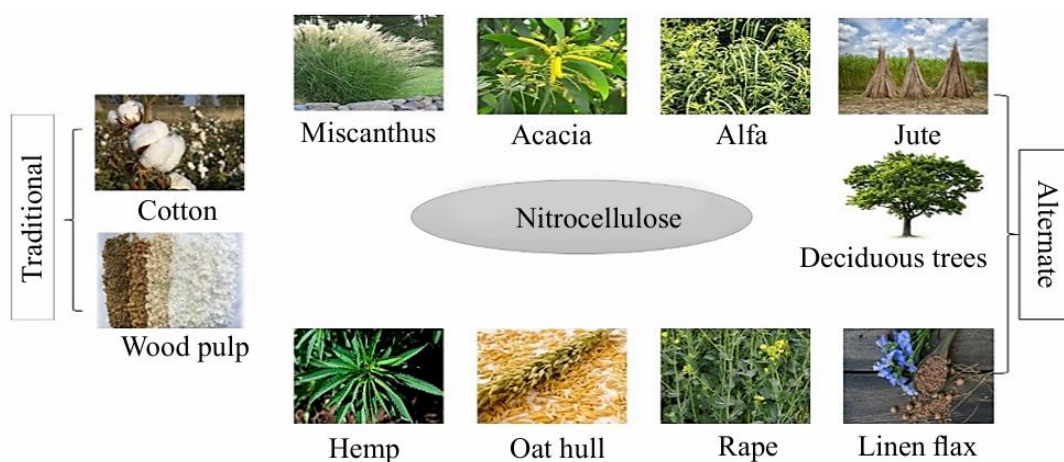
Таблица 2. Състав на отпадъци от памук различен произход [4]

Вид на памучния отпадък	Структурна композиция		
	Лигнинова фракция, %	Хемицелулоза, %	Целулоза, %
Растителни памучни отпадъци	28	17	33
Отпадъци от пречистване на памук (растение)	18–26	4–15	20–38
Влакна от растението памук	-	-	99
Отпадъци от тъкането на памук	-	-	99,9
Индустриални памучни отпадъци	5	15,6	79,4

Класическите методи за получаване на нитроцелулоза с високо качество (α -целулоза) се базират на естествен памук, дървесина, лен, коноп, слама, като изборът на конкретната суровина се прави след оценка на наличието ѝ, технологичните възможности за преработка, икономически показатели и търсените параметри на готовия продукт след нитрирането. Основният показател, по който се прави класификация на получаваната нитроцелулоза е нейното азотно съдържание, изразено в проценти [5, 6]. Неговата максимално постижима стойност е определена на 14,15%. Във военната индустрия се ползват целулозни нитрати с азотно съдържание над 11,5%, а за изделията с най-високи енергетични изисквания този процент трябва да бъде над 13%. Количеството на азота в молекулите на нитроцелулозата влияе много силно на нейните свойства като разтворимост, вискозитет, стабилност, запалимост и детонационна податливост. Нитратите на целулозата с ниска степен на азотно съдържание се разтварят в алкохоли, а тези с по-високи съдържания – в алкохолно-етерни смеси. При азотно съдържание над 13% те са почти неразтворими в летливи разтворители. В зависимост

от използваните разтворители и добавки, при производството на колоидни барути, те се разделят на едноосновни (еднобазови, single base), двуосновни (double base) и триосновни (triple-base) [1, 5, 6].

Очевидно е, че за получаване на нитроцелулоза с високо качество, годна за употреба във военното производство, е целесъобразно използването на изходна биомаса с високо съдържание на α -целулоза, спрямо останалите съставки. В най-голяма степен това изискване е изпълнено при естествения памук, където целулозата съставлява 95–99%. При лена и конопа съдържанието достига до 80–95%, а в сламата и дървесината 40–65%. Тези цифри, обаче ясно показват основния проблем при избора на суровини за получаване на нитроцелулоза – необходимостта от огромни количества естествен памук с цел най-изгодно и висококачествено производство. От друга страна, най-разпространените суровини като дървесина и слама, които са повсеместно достъпни, изискват множество предварителни обработки, продължителни, енергоемки и скъпи технологични процеси, за да се получи от тях качествен изходен материал за нитриране. Лабораторни изследвания и резултати са публикувани за многообразие от растителни суровини, подходящи за нитриране и получаване на НЦ с високи енергетични показатели. Част от тях са представени на схемата от Фиг. 1 [6]. Алтернативните суровини засега остават на етап лабораторни експерименти и не са довели до масово внедряване и индустриални мащаби на производство.



Фиг. 1. Традиционни и алтернативни източници на целулоза, според Josmi John [6]

Основни производители на естествен памук са Китай, Индия, Бразилия, САЩ, Пакистан, Узбекистан, Австралия, Турция, Аржентина. Някои от тези държави, като Индия например, използват добивите от памук изключително за собствени нужди и дори донасят допълнителни количества. Водещи страни-износители са САЩ, Бразилия, Австралия, Турция и др. В страните от ЕС памук се отглежда най-вече в Гърция и Испания, докато делът на останалите страни е многократно по-нисък. България е от страните със скромни добиви на естествен памук, поради факта че засетите площи са драстично намалели през годините до около 20 000 декара. Парадоксално е, че вече 100 години имаме специализиран институт, занимаващ се със селекция и развитие на сортове памук в гр. Чирпан, а интерес към неговата дейност се проявява най-вече от чуждестранни потребители. В този институт са селектирани десетки сортове, подходящи за различни видове почви и климатични условия, като „Чирпан – 539“, „Хелиос“, „Филипополис“, „Сириус“, „Персенк“, „Амарилис“ и др. Предлагат се средновлакнести и дълговлакнести разновидности на памука с дължина на влакната 25–30 mm (Фиг. 2 и Фиг. 3).



Фиг. 2. Засята площ готова за прибиране на реколтата, и получения от нея памук

Произведените в България малки количества естествен памук се балират, след като са били омаганени, и почти изцяло се изнасят, за страни като Гърция например, на цени около 0,5 евро за килограм. Няма данни тази суровина да е обект на интерес от български предприятия, факт вероятно дължащ се на липсата на мощности за първична преработка. Освен това, при толкова малки произведени количества в страната ни, не могат да се гарантират стабилни доставки за каквото и да е мащабно производство, особено в критични сфери като отбранителната индустрия. Въпреки добрите традиции на България от близкото минало в този сектор, в настоящия момент производството на боеприпаси и техните компоненти (включително НЦ) зависи в много голяма степен от външни доставки.



Фиг. 3. Български памук от сорт „Хелиос“ и микроскопско изображение на влакната

Използването на дървесина за получаване на НЦ е друго популярно технологично решение, прилагано успешно от утвърдени производители във Франция, Германия, Белгия, Швеция, Чехия, Полша и др. Концерните Eurenco, Rheinmetall, Synthesia, MESKO (PGZ Group) и техни дъщерни предприятия (MANUCO, Hagedorn-NC) посочват като източници на целулоза както памучен линтер, така и дървесен пулп. Дървесният пулп се изсушава във формата на листове, които преди нитриране се разтрошават в мелници до дървесен чипс с подходящ размер за съответната технологична схема [7]. В нашата страна като единствен производител

на сулфатна избелена целулоза (ECF) от широколистна дървесина, предназначена за целулозно-хартиената промишленост, може да се посочи „Свилоса“ АД.

По количествено съдържание на целулоза влакнодайните растения като лен и коноп заемат междинно положение между естествения памук и дървесината (средно 55–85%). Вегетационният период е сравнително къс при тези растения (120–130 дни) и добивите са в рамките на 600 kg от декар [11]. Възможностите на България да отглежда и преработва растителни видове като лен и коноп в количества достатъчни за устойчиво хранване на производствени мощности в отбранителната индустрия са по-скоро пожелателни. Необходими са насърчителни програми, селекция на сортове, технологии и инфраструктура за предварителна обработка и пречистване, регулация и законодателство, но това предполага дълги срокове на стратегическо планиране, финансиране и инвестиции. Въпреки подходящия климат, почви и добри традиции, тези култури трудно могат да се наредят като удачни ресурсни варианти в близко бъдеще.

Има публикувани данни за получени много високи съдържания на азот при нитриране на екзотични за България растителни видове като *Luffa cylindrica* (позната още като Египетска краставица, плод от семейство тиквови) и отпадъчен пулп от *Coffea arabica*. Суровините са били предварително обработени с алкално третиране, избелване с водороден пероксид и сушене. Авторите са постигнали азотно съдържание от 13,67% и декларират, че получената НЦ е подходяща за употреба в различни области, включително и за военни цели [9].

От групата на специализираните лабораторни източници на α -целулоза с високо качество трябва да се посочат микрокристалната (МКЦ) и бактериалната целулоза. МКЦ се получава чрез частична киселинна хидролиза на висококачествена α -целулоза, при което се разгражда аморфната част на целулозата, а остава предимно кристалната форма. Така се отстраняват нежеланите примеси, променя се структурата на влакната и се улеснява дифузията на киселини при последващото нитриране.

Проект за изграждане на „Инсталация за производство на микрокристална целулоза“ е ново инвестиционно намерение, което предстои да бъде реализирано в „Свилоса“ АД. Планираният размер на инвестицията, включващ разходи за придобиване на дълготрайни материални активи: земя, сгради, машини и оборудване са в размер на 25 670 хил. лв. и с него ще се разкрият 40 работни места. Изпълнител на проекта е „Свилоса ЗИК“ АД, гр. Свищов. Продуктът, който е нов и ще се произвежда за пръв път в България е микрокристална целулоза (МКЦ). Капацитетът на инсталацията ще е 15 т/ден (4950 т/година) за 330 работни дни в годината [15].

Въпреки добрите показатели на този тип целулоза, употребата ѝ е ограничена в други области на индустрията като хранителна и фармацевтична промишленост. Във военната сфера още няма данни за мащабно внедряване на технологии, използващи МКЦ като базова суровина за нитриране до НЦ. Бактериалната целулоза също притежава много висока чистота, но е с ниска производителност и трудна за мащабиране [8, 10].

Към алтернативните източници за получаване на целулоза могат да се причислят отпадъчни хартиени материали: кашони, офис хартия, санитарни изделия, вестници, списания и книги, но това са ресурси с изключително разнороден състав и характеристики. Преработката им е свързана с изключително сложни, скъпи и продължителни подготвителни операции. Генерираните количества са непостоянни и несигурни, което силно ограничава реалната реализация на такива проекти в едромасщабно производство на НЦ.

Единственият източник на големи количества отпадъчни материали, при това с необходимото високо качество за нуждите на НЦ производство, са текстилните отпадъци, особено тези с високо съдържание на памук [12, 13]. В страните от ЕС се генерират такива суровини, към които вече са насочени конкретни проекти за усвояване именно за целите на отбранителната индустрия. Типичен пример е такъв проект, финансиран от шведската агенция за иновации Vinnova и координиран от един от най-големите производители на взривни вещества в Европа EURENCO Bofors AB в сътрудничество с Biosorbe AB като граждански участник. Основната цел е производство на нитроцелулоза от рециркулирана памучна суровина (текстилни отпадъци), с пилотна инсталация в Kristinehamn през 2024–2026 г. Заводът на Biosorbe в Kristinehamn има капацитет от 7000 тона годишно, което е от същия порядък като нарасналите нужди на Европа. Biosorbe ще снабдява Eurenco чрез фабриката си в Kristinehamn с подходящ памучен пулп за производство на нитроцелулоза. Eurenco ще изгради пилотен проект за по-нататъшно преобразуване на този пулп в нитроцелулоза. Планът е произведената нитроцелулоза да се използва в производствените линии на Eurenco, за да се оцени напълно потенциалът на произвежданите от тази суровина метателни ВВ.



Фиг. 4. Отпадъчен памучен текстил и SEM изображение

Този подход за получаване на висококачествена НЦ от местно достъпни отпадни суровини е напълно осъществим и в нашата страна. По обобщени данни от множество публични източници и допълнителна информация от конкретни предприятия на текстилната индустрия, в България годишно се натрупват текстилни отпадъци в количество, достигащо 100 000 тона. От тях приблизително една трета са на база естествени влакна, включително памучни. Дори и данните да са неточни и завишени, то количествата на тези нискостойностни суровини пак се измерва в хиляди тонове, от които реално се рециклират не повече от 2–3%. Само за едно от българските текстилни предприятия, за които има конкретни данни, е посочено че годишният отпадък от 100% памучен текстил е от порядъка на 20–25 тона. В рамките на текстилната ни индустрия като цяло може да се предположат количества памучни отпадъци поне 15–20 хиляди тона годишно.

Използването на текстилни отпадъци като суровина за получаване на НЦ има ред положителни страни – осигурява прекурсор с високо съдържание на α -целулоза (до 96%); получаваният пулп има добра реактивоспособност и позволява висока степен на нитриране; оползотворяват се отпадни продукти, които иначе биха се отправили към сметищата. Към недостатъците може да се посочат несигурност в обемите на доставките и по-сложна предварителна обработка. На Фиг. 4 е показан образец – изрезки от небоядисан тъкан текстил, предоставен от български производител. Вдясно на същата фигура е направено SEM изображение на материала, показващо състоянието на памучните влакна. Направени са успешни опити от авторите за предварителна обработка на тази суровина в лабораторни условия чрез алкална хидролиза и избелване с водороден пероксид до получаване на памучен пулп, пригоден за нитриране. Първоначалните резултати са обнадеждаващи и изследванията са в процес на технологично оптимизиране на дейностите, свързани с предварителната преработка на материала.

Технологии за нитриране на целулозата до получаване на НЦ

За получаването на НЦ от базовия прекурсор се използват различни нитриращи смеси:

- **Само азотна киселина** – първоначално за приготвяне на НЦ е използвана само азотна киселина. Въпреки високото получавано азотно съдържание (13,6–13,8%), полученият продукт е изключително нестабилен. Единственото предимство на този подход е, че НЦ може лесно да се стабилизира, но само в контролирани лабораторни условия [14];

- **Смес от азотна киселина, сярна киселина и вода** – това е най-икономичният начин за производство на нитроцелулоза. Сярната киселина в нитрационната смес се свързва с освободената при нитрирането вода и едновременно действа като набъбващ агент за целулозата, като по този начин улеснява последващата реакция. Основният недостатък на метода е образуването на целулозни сулфати, които трябва да бъдат елиминирани от продукта, за да се постигне стабилност. Въпреки това, промишленото производство на нитроцелулоза се базира изключително на този подход. Получава се НЦ с азотно съдържание до 13,9%;

- **Смес от азотна киселина и фосфорна киселина** – получава се стабилна НЦ без образуване на фосфорни естери. Основният недостатък на метода е невъзможността му да синтезира нисконитрирана нитроцелулоза, а също много високата чувствителност към състава на нитриращата смес и опасност от втвърдяване или кристализация на нитроцелулозните влакна при малки отклонения на технологичните параметри;

- **Смес от азотна и оцетна киселина** – за да се стабилизира продуктът, образуван в тази реакция, са необходими три екстракции с врящ алкохол. Мащабирането на този подход е затруднено, поради възможни реакции до получаване на ацетил нитрат и образуване на вещества с висока температурна чувствителност и опасност от експлозии;

- **Смес от азотна киселина и органични разтворители** – използват се органични разтворители като тетраклорметан, метил нитрат и хлороформ в комбинация с азотна киселина. Тези разтворители не разграждат полимерните вериги на продукта и осигуряват добри механичните свойства. Още не е приложено в промишлени мащаби.

Процесът на нитриране е изключително рисков елемент от преработката на целулозните прекурсори до краен продукт НЦ. Използват се силни киселини с пределно висока концентрация, което крие опасности от аварии на всеки етап от производството. Рециклирането и повторното използване на компонентите от нитриращите смеси е един от ключовите въпроси, свързан с усъвършенстването на методиката. Утилизацията на отпадните продукти също е голям проблем, върху който се работи усилено, за да се екологизира това важно производство.

Заклучение

Направеният обзорен анализ на възможностите за суровинно обезпечаване и технологични решения относно получаването на висококачествена нитроцелулоза с местен за страната произход показва, че съществува добър потенциал за развитие. Като най-перспективни базови суровини могат да се посочат:

- естественият памук, при положение че значително се увеличат засетите площи, което е свързано с провеждане на редица мерки за насърчаване на земеделските производители

- памучните отпадъци от текстилната промишленост, гарантиращи едновременно високо съдържание на целулоза и оползотворяване на нискостойностни продукти от индустрията

- различни видове отпадъчна биомаса от земеделието, което обаче е свързано със сравнително високи разходи за предварителна обработка на суровия изходен материал и въвеждане на съвсем нови технологични линии

Рециклирането на отпадъци от текстилната индустрия с цел използването им като прекурсор за получаване на целулозен пулп с високо съдържание на α -целулоза и възможност за подлагане на нитриране е много перспективен метод за развитие и усъвършенстване в нашата страна. За разлика от несигурностите, свързани с добивите на естествен памук, то суровинното осигуряване с текстилни отпадъци може да се разглежда като сравнително стабилно и достъпно за развитие и усъвършенстване веднага.

За нитриране на целулозната маса до получаване на продукти с високо азотно съдържание, водещ технологичен модел е класическият подход с използване на комбинация от азотна и сярна киселина в подходящо за всяка отделна изходна суровина съотношение. Това е продиктувано от съвкупността на множество фактори като икономичност, сигурност, висока производителност и детайлно познаване на технологичните процеси.

Литература:

1. Жегров Е.Ф. и кол., Химия и технология баллистических порохов, твердых ракетных и специальных топлив. Т. 1. Химия: Монография — М.: РИЦ МГУП им. И. Федорова, 2011
2. Khalidatul Athirah KHALID et al., Lignin Extraction from Lignocellulosic Biomass Using Sub- and Supercritical Fluid Technology as Precursor for Carbon Fiber Production., *Journal of the Japan Institute of Energy*, 96, 255–260 (2017)
3. M. Ranjithkumar, R. Ravikumar, M. Kirupa Sankar, M. Naresh Kumar, V. Thanabal, An Effective Conversion of Cotton Waste Biomass to Ethanol: A Critical Review on Pretreatment Processes, *Waste and Biomass Valorization*, 2017, 8, 57–68
4. M. Bilal, Z. Wang, J. Cui, L. F. R. Ferreira, R. N. Bharagava, H. M.N. Iqbal, Environmental impact of lignocellulosic wastes and their effective exploitation as smart carriers – A drive towards greener and eco-friendlier biocatalytic systems, *Science of The Total Environment*, 2020, 722, 137903
5. Fahri M. et al., Evaluation of Double Base Propellant Industry Independence, Using Swot Analysis, Supply Side., *Budapest International Research and Critics Institute-Journal (BIRCI-Journal)* Volume 5, No 3, August 2022
6. Josmi John et al., Nitrocellulose Unveiled: A Brief Exploration of Recent Research Progress., *Sustainable Chemical Engineering*, Volume 5 Issue 1|2024| 147
7. Ali Khalili Gashtroudkhani et al., A new process for producing of commercial nitrocellulose with chipping technology of sheet wood pulp., *Scientific Reports* (2025) 15:17470, <https://doi.org/10.1038/s41598-025-01322-6>
8. Edmund Morris et al., Towards understanding and directing the nitration of cellulose., *Cellulose* (2025) 32:1513–1526 <https://doi.org/10.1007/s10570-024-06298-6>
9. Raden Reza Rizkiansyah et al., Selecting appropriate cellulose morphology to enhance the nitrogen content of nitrocellulose., *RSC Adv.*, 2024, 14, 28260–28271
10. V. A. Lipin, I. I. Petrova, and E. D. Sofronova, Alternative feedstock for producing nitrocellulose., *Fibre Chemistry*, Vol. 52, No. 3, September, 2020
11. З. Т. Валишина и кол., Целлюлоза на основе альтернативных источников отечественного сырья: целлюлоза из пенькового волокна., *Вестник Казанского технологического университета*, 2015
12. Mustafa Dolaz, Cellulose Obtained from Textile Waste Called “Air Condition Dust”: Synthesis and Characterization of Nitrocellulose., *Journal of Engineering Sciences* · December 2016
13. Birgit Stubbe et al., White Paper on Textile Fibre Recycling Technologies., *Sustainability* 2024, 16, 618. <https://doi.org/10.3390/su16020618>
14. Siti Nor Ain Rusly et al., Stabilizer selection and formulation strategies for enhanced stability of single base nitrocellulose propellants: A review., *Energetic Materials Frontiers* 5 (2024) 52–69
15. <https://svilosa.bg/web/files/richeditor/filemanager/news/MCC.pdf>